

# DETERMINACIÓN DE UNA ZONA IDEAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA NUCLEAR EN ECUADOR

Gabriela Cadena, Patricio Loza y Alicia Zambrano\*

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

\*Autor de correspondencia: nazambrano1@espe.edu.ec

Recibido 20 de febrero 2018/aceptado 28 de febrero 2018

## RESUMEN

La energía es un bien altamente necesario y demandado para el desarrollo de los países. Las plantas nucleares es una fuente de energía alternativa segura, limpia y barata, por lo cual se considera como una opción el construir una planta que satisfaga las necesidades de la población pero que la mismo no se vea afecta, es por esto que se realizó un análisis multicriterio utilizando la información geográfica tales como Inundaciones, Áreas protegidas, Peligro Volcánico entre otras, obtenidas de diversas fuentes, para el análisis se tomó en cuenta los criterios de exclusión e idoneidad realizando un álgebra de mapas, dando como resultado un total de 284 zonas de las cuales se llegó a la conclusión de que la zona idónea para construir una planta nuclear será la localizada en el límite entre Cañar y Azuay, en los cantones de Azogues y Paute en las parroquias San Miguel y San Cristóbal con una superficie de  $7,75 \text{ km}^2$ .

**Palabras Clave:** planta nuclear, análisis multicriterio, álgebra de mapas.

## ABSTRACT

Energy is a highly necessary and demanded good for the development of countries. Nuclear power plants are a source of safe, clean and cheap alternative energy, so it has been considered as an option to build a plant that meets the needs of the population without affecting them. Therefore, a Multicriteria analysis using geographic information such as Floods, Protected Areas, Volcanic Hazard among others, has been obtained from diverse sources. For the analysis the exclusion and suitability criteria have been taken into consideration conducting an algebra of maps, resulting in a total of 284 zones of which it has been concluded that the ideal area to build a nuclear plant will be located on the border between Cañar and Azuay, in the cantons of Azogues and Paute in the San Miguel and San Cristóbal parishes with a surface area of  $7,75 \text{ km}^2$ .

**Keywords:** nuclear plant, multicriteria analysis, map algebra.

## INTRODUCCIÓN

La energía es un bien altamente necesario y demandado para el desarrollo de los países, existiendo en la rama una gran variedad de alternativas desde la energía hidráulica que es la más común, hasta la energía nuclear que es muy poco conocida a nivel general, pero con grandes ventajas ambientales. (Lara, Linares, Vásquez, & Claudia, 2008) La energía nuclear es una de las fuentes de producción de electricidad con mayor controversia ya que si bien es una alternativa

segura, limpia y barata, también provocan riesgos en cuanto a salud y seguridad de las personas que trabajan en este tipo de instalaciones, ya que los materiales e indumentaria que se emplean en la misma pueden ocasionar radiación peligrosa a quienes mantienen contacto con ella. Este tipo de energía nace a partir de la fisión nuclear, durante la transformación de agua en vapor hasta alcanzar los generadores que producen electricidad y a parte que para su construcción y funcionamiento se debe contar con los controles ofrecidos por la Comisión de Regulación Nuclear NRC. (Department of Homeland Security, 2018)

Al ser una energía tan amigable para el ambiente, varios países han decidido invertir en las mismas, por lo que alrededor del mundo existen 442 reactores en más de 29 países, con una capacidad de 375.001 megavatios. Por lo que al ver la gran acogida de esta energía otros países la han adquirido, encontrándose 65 plantas en etapa de construcción. Sin embargo, se debe considerar que la mayoría de las plantas mencionadas se encuentran activas en la zona europea. Mientras que en América Latina los países que cuentan con este tipo de plantas son Argentina, Brasil y México. (García, 2011)

Entonces para realizar la selección del sitio más propicio para la ubicación se debe pasar por un proceso de identificación, calificación y caracterización de construcción, para lo cual hay que considerar una región potencial, además de un análisis en aspectos de salud, seguridad, ecología, socio economía, ingenieriles y económicos. Todos los criterios mencionados deben ser válidos para un buen funcionamiento de la planta, incluyendo su construcción, operación, transporte y accidentes. (Guimaraes, 2015) Por lo que además de todos los parámetros mencionados se debe considerar un área con bajo índice de amenaza de riesgo natural o muy cerca de sitios muy poblados. Enfocando la investigación en el análisis de factores a considerar para la construcción de una planta nuclear en el Ecuador, mencionando a todos las partes que influyen en su desarrollo.

## **METODOLOGÍA**

El análisis multicriterio de información geográfica se puede considerar como un proceso que combina y transforma datos geográficos (entrada) y nos da como resultado una decisión (salida). Los procedimientos de Toma de Decisiones utilizando estos análisis multicriterio definen una relación entre los mapas de entrada y el mapa de salida. Los procedimientos implican el uso de datos espaciales, las preferencias de los responsables de la toma de decisiones y la manipulación de datos y preferencias de acuerdo con reglas de decisión específicas. (Rizzo, Dubinsky, OnurTastan, & Miano, 2015)

El primer paso será recopilar toda la información a nivel nacional disponible, y posteriormente se las evalúa para obtener una amplia comprensión con respecto a los problemas y atributos importantes en la ubicación, construcción y operación de una planta de energía nuclear. Estos incluyen aspectos relacionados a seguridad de la planta, así como los impactos sobre las poblaciones circundantes y el medio ambiente. La información se recopila y evalúa con respecto a una amplia gama de aspectos sísmicos, geológicos / hidrogeológicos, ambientales, culturales y socioeconómicos.

La selección de la información utilizada en este trabajo se la realizó en función a la disponibilidad de información, escala de trabajo, su año de publicación y cobertura. Por este motivo con la finalidad de realizar el estudio a nivel nacional tratando de ocupar todos los criterios posibles, el análisis se lo realizó para una escala 1:250.000 utilizando la siguiente información.

Tabla No. 1 Información Geográfica recopilada

<b>Nombre</b>	<b>Escala</b>	<b>Fuente</b>
<b>Inundaciones</b>	1:250.000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
<b>Áreas Protegidas</b>	1:250.000	Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE)
<b>Peligro Volcánico</b>	1:50.000	IGENP-STGR
<b>Movimientos de Masa</b>	1:250.000	Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP) - STGR
<b>Ciudades, Pueblos, Poblados, etc. (año 2014)</b>	1:50.000	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)
<b>Ríos (Orden 3-7)</b>	1:250000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
<b>Principales Vías</b>	1:250000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
<b>Líneas de Transmisión y Subtransmisión</b>	1:1.000.000	Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)

El segundo paso es clasificar la información encontrada en dos tipos de criterios: criterios de exclusión y criterios de idoneidad, siendo criterios de exclusión aquellos que indican los lugares que no deben tomarse en cuenta para la selección de la zona ideal para la construcción de la planta de energía nuclear; por otro lado, los criterios de idoneidad nos reflejarán las zonas más ideales para dicha construcción.

Tabla No. 2 Información Recopilada por tipo de criterio

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de Criterio</b>
<b>Inundaciones</b>	Exclusión
<b>Áreas Protegidas</b>	Exclusión
<b>Peligro Volcánico</b>	Exclusión
<b>Movimientos de Masa</b>	Exclusión
<b>Ciudades, Pueblos, Poblados, etc. (año 2014)</b>	Idoneidad/Exclusión
<b>Ríos (Orden 3-7)</b>	Idoneidad/Exclusión
<b>Principales Vías</b>	Idoneidad
<b>Líneas de Transmisión y Subtransmisión</b>	Idoneidad

El siguiente paso a realizar es cargar toda la información a un sistema de información geográfica (ver figuras 1 y 2) y cruzarlas usando álgebra de mapas con la finalidad de obtener un shape de polígonos en donde se muestren las zonas ideales para la construcción de la planta nuclear (ver figura 3). Para lo cual deberemos realizar un análisis para cada uno de los criterios seleccionados previamente los cuales se muestran en la tabla No.3.



FiguraNo. 1 Criterios de Idoneidad (Principales Vías, Ríos Orden 3-7, Zona Urbana, Línea de Transmisión Eléctrica). Fuente: Autores

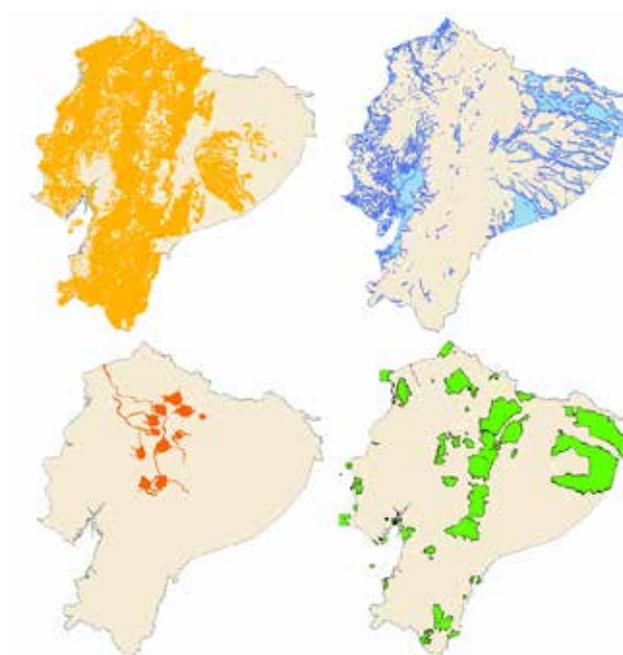


Figura No. 2 Criterios de Exclusión: Alta Susceptibilidad a Movimientos de Masa, Amenaza de Inundación, Peligro Volcánico y Sistema Natural de Áreas Protegidas.

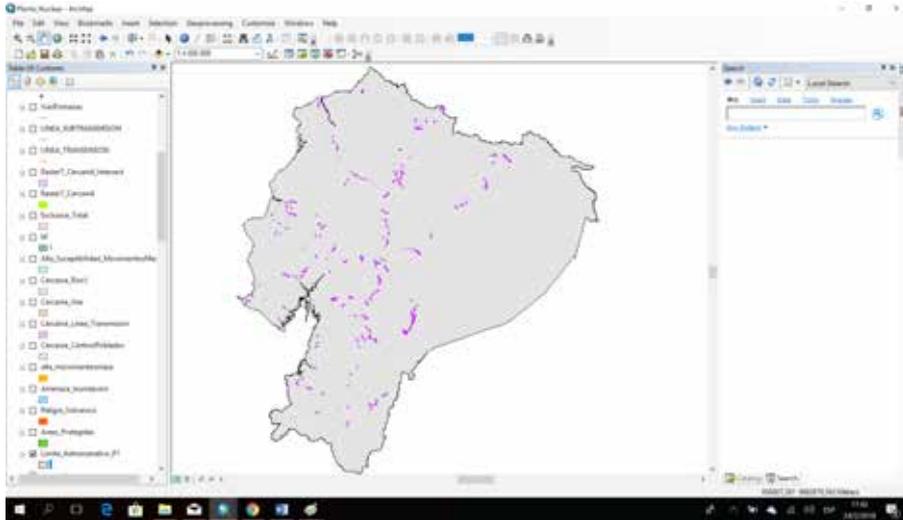


Figura No. 3 Zonas Ideales para la Construcción de la Planta Nuclear. Fuente: Autores

Tabla No. 3 Criterios de Exclusión e Idoneidad. Fuente: Autores

Nombre	Tipo de Criterio
<b>Inundaciones</b>	Exclusión total. Ya que la planta nuclear debe estar en el lugar más seguro posible, debe estar fuera de cualquier tipo de riesgos, amenazas o peligros ya sean: Volcánicos (Caída de ceniza, flujos de lava, flujos piroclásticos, sísmicos), inundaciones, movimientos de masa (Tipo de suelo y deslizamientos), además de tomar en cuenta que el proyecto debe estar alejado de cualquier área protegida.
<b>Áreas Protegidas</b>	
<b>Peligro Volcánico</b>	
<b>Movimientos de Masa</b>	
<b>Ciudades, Pueblos, Poblados, etc. (año 2014)</b>	Exclusión dentro de Ciudades y buffer de distancia de al menos 2 km.
<b>Ríos (Orden 3-7)</b>	Ya que se necesita grandes cantidades de agua para ser usada en los sistemas de enfriamiento, se toma en cuenta un Buffer de 500 metros.
<b>Principales Vías</b>	Debido a que necesita accesibilidad a la zona, se toma en cuenta cercanía a vías principales, buffer de al menos 3km.
<b>Líneas de Transmisión y Sub-transmisión</b>	Dado a que debe estar cerca del sistema interconectado se tomó en cuenta un buffer de al menos 5km.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de haber aplicado la metodología descrita, se obtuvo que del territorio continental ecuatoriano 283.560  $km^2$ , las zonas idóneas para la construcción de una planta nuclear alcanzaron 658,54  $km^2$ , siendo éste el 0.23% del total de la superficie. Se obtuvieron 284 zonas, pero según el Foro de la Industria Nuclear Española, se requieren entre 1 y 4  $km^2$  para construir una central nuclear, (Nuclear, 2018) pero debido a las escalas a las que se encuentra la información, se tomará en cuenta a partir de 4  $km^2$  de esta manera se disminuyen las zonas que podrían ser producto de la diferencia de escalas, reduciendo las zonas a 47 como se muestra en el figura N° 4.

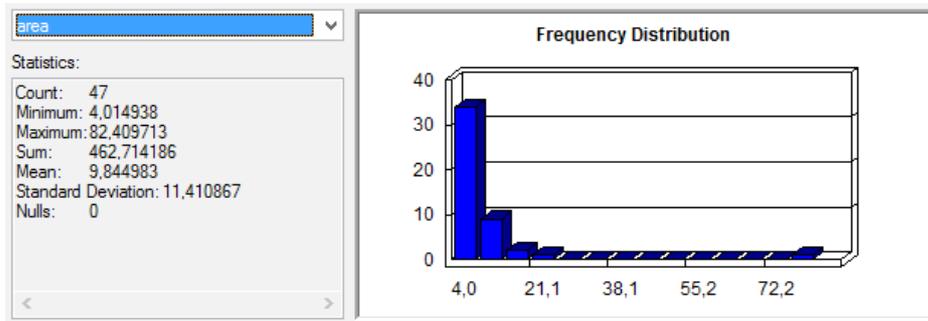


Figura No. 4 Zonas Ideales para la Construcción de la Planta Nuclear. Fuente: Autores

De todas las zonas idóneas, se escogió la zona que se encuentra en el límite entre Cañar y Azuay, en los cantones de Azogues y Paute en la parroquia San Miguel y San Cristóbal como se observa en la figura 5 y consta de 7,75  $km^2$ , ésta fue seleccionada debido a que cumple con todos los parámetros adecuados como la geología del lugar, ocurrencia de terremotos, movimientos en masa, estar alejado de zonas de inundación, la densidad de la población cercana, localización de minas. (Goldfarb, 2009)

Siendo la ecuación final la siguiente:

$$\text{Mapa final} = \text{Ciudades} + \text{Ríos} + \text{Principales vías, Líneas de transmisión} - \text{Inundaciones} - \text{Áreas Protegidas} - \text{Peligro Volcánico, Movimiento de Masa}$$

## CONCLUSIONES

Para la localización más adecuada de una planta nuclear se han considerado varios aspectos para una óptima ubicación tanto para construcción como para operación de la planta. En la descripción de metodología se detallan todas las consideraciones tomadas, tanto de poblados, como de desastres naturales que afecten en su construcción.

Por lo que al contemplar todos los requisitos y parámetros analizados se determinó que la zona más propicia para la construcción de una planta nuclear debería ser en la provincia de Azuay, en la ciudad de Cuenca, ya que además de ser una zona en la que no interceden muchas amenazas de origen natural, se han encontrado yacimientos de uranio y torio que serían una ventaja para la planta nuclear. De igual manera es considerable que en esa zona el nivel de educación y cultura por lo que se llevarán las medidas adecuadas y de bajo riesgo para los trabajadores. Sin embargo hay que considerar que de por si el Ecuador es un país que no cuenta con los protocolos de seguridad adecuados para la construcción de una planta nuclear, por lo que si hubiera alguna amenaza volcánica o algún sismo o terremoto en la zona de ubicación junto con una planta nuclear las consecuencias serían muy grandes para ser controladas de forma inmediata.

## REFERENCIAS

- Department of Homeland Security. (21 de Febrero de 2018). *Plantas de energía nuclear*. Obtenido de <https://www.ready.gov/es/plantas-de-energia-nuclear>
- García, J. (14 de Marzo de 2011). El mapa nuclear en el mundo. *EL PAÍS INTERNACIONAL*, pág. 3.
- Goldfarb, A. (2009). *Regional-Scale Analysis of Nuclear Reactor Site Locations in the State of California*. Medford: Tufts University, Department of Mechanical Engineering.
- Guimaraes, L. (2015). *Site selection for new nuclear power plants*. USA: Eletrobras Termonuclear S.A.-ELECTRONUCLEAR.
- Lara, S., Linares, A., Vásquez, M., & Claudia, V. (2008). *Estudio exploratorio para la localización de una central nucleoelectrónica en Chile*. Chile: Universidad de Chile.
- Nuclear, F. (25 de Febrero de 2018). *Foro de la Industria Nuclear Española*. Obtenido de Terreno que ocupan las centrales nucleares: <https://www.foronuclear.org/es/consultas-al-experto/121739-terreno-que-ocupan-las-centrales-nucleares>
- Rizzo, P. C., Dubinsky, M., OnurTastan, E., & Miano, S. C. (2015). SITE SELECTION FOR NEW NUCLEAR POWER PLANTS. *International Nuclear Atlantic Conference*.